Kontaminasi Mikroplastik dan Perubahan Histologis Organ Ikan sebagai Indikator Biomonitoring Pencemaran Pesisir di Pulau Baai, Provinsi Bengkulu

Dian Fita Lestari*, Santi Nurul Kamilah, Yulia Fitriani, LutfiaAzka Hani, Asri Jade Larisa, Ibranio Risditama, Hengki Turnando

Jurusan Biologi, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Bengkulu
Jl. WR.Supratman, Kandang Limun, Muara Bangkahulu, Kota Bengkulu, Bengkulu Indonesia
Email: dianfita@unib.ac.id

Abstrak

Mikroplastik (<5 mm) merupakan polutan emergen di ekosistem perairan yang berpotensi menimbulkan efek toksik pada organisme akuatik, termasuk gangguan fisiologis, stres oksidatif, dan peningkatan mortalitas ikan. Penelitian ini bertujuan menganalisis cemaran mikroplastik serta gambaran histologis organ insang dan usus ikan di perairan Pulau Baai, Provinsi Bengkulu. Analisis mikroplastik menggunakan larutan KOH 10%, sedangkan histologi menggunakan metode parafin dengan pewarnaan Hematoksilin-Eosin. Sampel ikan terdiri atas empat spesies, yaitu tongkol, selar, gulama, dan kape-kape, masing-masing sebanyak 20 ekor. Hasil penelitian menunjukkan keberadaan mikroplastik pada kedua organ dengan kelimpahan berkisar 98–287 partikel/gram; jumlah tertinggi ditemukan pada ikan tongkol dengan rata-rata 139 partikel/gram. Bentuk mikroplastik yang teridentifikasi meliputi filamen, fragmen, dan film, dengan filamen sebagai bentuk dominan. Warna mikroplastik yang paling banyak ditemukan adalah hitam dan transparan. Analisis histologis insang menunjukkan perubahan struktural berupa hiperplasia, pengangkatan epitelium, pemendekan lamela sekunder, fusi lamela primer, edema, dan lisis. Histologis usus menunjukkan kerusakan berupa lisis, erosi vili, abnormalitas sel goblet, serta terlepasnya epitel mukosa dari lamina propria. Kerusakan struktur jaringan tersebut dapat dipengaruhi adanya tekanan lingkungan di perairan laut Bengkulu yang diduga dipengaruhi oleh paparan berbagai bahan pencemar, termasuk mikroplastik sebagai salah satu kontaminan potensial di ekosistem perairan.

Kata kunci : biomonitoring, ikan konsumsi, kontaminasi pesisir, mikroplastik, perairan

Abstract

Microplastic Contamination and Histological Alterations in Fish Organs as Biomonitoring Indicators of Coastal Pollution in Pulau Baai, Bengkulu Province

Microplastics (<5 mm) represent emerging pollutants in aquatic ecosystems with the potential to exert toxic effects on aquatic organisms, inducing physiological disturbances, oxidative stress, and increased mortality in fish. This study aimed to analyze microplastic contamination and histological examination of gill and intestinal tissues in fish from Pulau Baai, Bengkulu Province. Microplastic analysis employed 10% KOH digestion, and histological preparation used the paraffin embedding method with Hematoxylin-Eosin staining. Four fish species were examined included Euthynnus affinis, Selaroides leptolepis, Johnius sp., and Lactarius lactarius, with 20 individuals per species. Microplastics were detected in both gill and intestinal tissues across all species, with abundance ranging from 98 to 287 particles/gram. The highest mean abundance was recorded in E. affinis at 139 particles/gram. Identified morphotypes included fibers, fragments, and films, with fibers predominating in both organs. Black and transparent were the most frequently observed colors. Histological observations of the gills revealed hyperplasia, epithelial lifting, secondary lamellae shortening, primary lamellae fusion, edema, and lysis. Intestinal histopathology showed lysis, villus erosion, goblet cell abnormalities, and detachment of mucosal epithelium from the lamina propria. The observed tissue structural damage in both gills and intestines is likely associated with multiple contaminants environmental stress in Bengkulu, with microplastics as one of the contributing pollutants in the aquatic ecosystem.

Keywords : *biomonitoring, coastal pollution, fish consumption, microplastics, waters*

*Corresponding author
http://ejournal.undip.ac.id/index.php/buloma
DOI:10.14710/buloma.v15i3.76312
Diterima/Received : 27-07-2025
Disetujui/Accepted : 23-05-2026

PENDAHULUAN

Sampah plastik menjadi perhatian secara global karena dampaknya pada pencemaran lingkungan dan terakumulasi pada ekosistem akuatik. Sementara, jumlah penggunaan plastik dari tahun ke tahun mengalami peningkatan. Penambahan populasi manusia dan kebutuhan plastik dalam kehidupan sehari-hari meningkatkan produksi plastik yang diprediksi akan mengalami peningkatan berlipat ganda dalam 20 tahun ke depan (Lebreton & Andrady, 2019) dan dapat melebihi 9 miliar pada tahun 2050 (Lusher *et al*., 2017). Sampah plastik juga dilaporkan mencapai 60 hingga 99 juta metrik ton selama tahun 2015 (Lebreton & Andrady, 2019). Indonesia merupakan salah satu negara penyumbang sampah plastik terbesar kedua di dunia (Basri *et al*., 2021). Laut Indonesia diperkirakan menerima kiriman sampah plastik dalam jumlah antara 100.000-400.000 ton setiap tahunnya yang diakibatkan dari aktivitas manusia (Ningrum *et al*., 2023). Mikroplastik (MP) merupakan partikel plastik mikroskopis yang merupakan hasil pecahan atau degradasi sampah plastik, yang biasanya berukuran <5 milimeter dan partikelnya terdiri dari berbagai bentuk, ukuran dan polimer (Banaee *et al*., 2025; Parker *et al*., 2021). Mikroplastik merupakan bentuk sampah yang jumlahnya banyak karena berasal dan tersebar di seluruh dunia (Yu *et al*., 2018). Eriksen *et al*. (2014) memperkirakan setidaknya terdapat 5,25 triliun partikel mikroplastik di perairan laut. Sampah MP selanjutnya difragmentasi menjadi nanoplastik dan kemudian terakumulasi dan tertelan oleh organisme hidup, sehingga mempengaruhi proses makan, pencernaan, ekskresi, dan reproduksi mereka (Suet *et al*., 2021). Karena peningkatan jumlah dan lamanya penguraian maka juga terjadi peningkatan MP di perairan yang dapat mempengaruhi kehidupan organisme akuatik dan berdampak buruk pada organisme bahkan pada tingkat trofik yang lebih tinggi melalui bioakumulasi dan biomagnifikasi (Aişeoğlu & Parmaksız, 2024; Burns & Boxall, 2018).

Lebih dari 690 spesies di laut menelan MP (Zhang *et al.*, 2020). Potensi ancaman MP terhadap kesehatan hewan dan manusia, status global MP pada ikan semakin memprihatinkan (de Sá *et al*., 2015). Ikan secara tidak sengaja menelan MP saat makan (Granby *et al*., 2018). Paparan MP secara terus menerus dan jangka waktu lama dapat menyebabkan paparan toksik plastik menjadi lebih besar (Zientika *et al*., 2021) dan dapat meningkatkan potensi kematian ikan (de Sá *et al*., 2015). Keberadaan MP pada ikan masih diasumsikan berasal dari aktivitas ikan yang berhubungan langsung dengan perairan seperti melalui insang dan saluran pencernaan. Namun MP juga telah ditemukan pada organ lain seperti hati dan daging (Yona *et al*., 2019).

MP yang tertelan dan masuk ke dalam tubuh ikan dapat merusak dan mengganggu fungsi pada organ-organ vital, seperti saluran pencernaan, dapat mengurangi tingkat pertumbuhan, menghambat produksi enzim, menurunkan kadar hormon steroid, serta mempengaruhi reproduksi (Choi *et al*., 2018). Sebuah penelitian tentang efek jenis MP pada ikan *Danio rerio* menunjukkan bahwa jenis PE menyebabkan kerusakan usus dan stres oksidatif (Lei *et al*., 2018). Selain perubahan molekuler, perubahan morfologi akibat konsumsi MP telah dikaji. Sebuah studi terbaru tentang paparan microfiber di medaka pada konsentrasi 10.000 serat/L menunjukkan dampak signifikan pada insang termasuk peningkatan lendir, peleburan lamela primer dan pembengkakan epitel (Hu *et al*., 2020). Penelitian ini menunjukkan bahwa konsentrasi MP dapat berbahaya. Selain ikan, mikroplastik yang tertelan menyebabkan dampak buruk bagi kesehatan organisme lain. Selain itu, MP yang tertelan oleh ikan meningkatkan risiko kesehatan manusia melalui konsumsi ikan. Manusia dapat menderita stres oksidatif, sitotoksisitas, neurotoksisitas, masalah sistem kekebalan tubuh yang diungkapkan oleh penelitian pada hewan (Bhuyan, 2022). Mikroplastik juga telah ditemukan pada plasenta, mekonium, feses bayi, ASI dan susu formula (Liu *et al*., 2023) yang menyebabkan masalah kesehatan manusia.

Provinsi Bengkulu terletak di bagian pantai barat Pulau Sumatra memiliki garis wilayah sepanjang ± 525 km dan memiliki potensi sumber wilayah pesisir dan lautan, sehingga Bengkulu memiliki potensi tinggi pada hasil perikanan laut. Berdasarkan hasil penelitian Fajri *et al.*, (2020) menemukan 37 spesies (27 famili) ikan laut dangkal yang terdapat di Provinsi Bengkulu. Kota Bengkulu merupakan salah satu pusat aktivitas penting bagi para nelayan sebagai mata pencaharian mayoritas warga setempat. Penelitian Purnama *et al*. (2021) menunjukkan bahwa cemaran mikroplastik di usus ikan tongkol di Bengkulu mencapai 52,7 partikel/individu. Hingga saat ini, belum ada kajian dampak cemaran mikroplastik pada kesehatan ikan di Bengkulu.

Belum adanya data penelitian yang menganalisis efek cemaran mikroplastik dari sisi histologi pada ikan, terutama ikan konsumsi di Bengkulu. Insang merupakan organ respirasi pada ikan yang setiap saat selalu berkontak langsung dengan air sebagai lingkungannya. Beberapa penelitian menunjukkan adanya akumulasi mikroplastik di insang ikan yang dilaporkan berdampak pada lendir dan lamela sehingga mengganggu difusi oksigen (Kama *et al*., 2024). Insang yang terpapar mikroplastik dalam jumlah banyak akan mengalami kerusakan pada struktur mikroanatominya sehingga insang menyebabkan ikan sulit bernafas dan kandungan oksigen dalam darah menjadi berkurang. Barboza *et al*. (2018) menyatakan bahwa pada saat ikan tersebut tertelan melalui insang dan menyerap dan distribusi MP melalui sistem peredaran darah dan partikel partikel-partikel tersebut dapat dimasukkan ke dalam jaringan dan sel yang berbeda yang mengakibatkan terjadinya perubahan perilaku, penurunan kinerja predator, neurotoksisitas, peradangan, stres hati, gangguan metabolisme, penurunan pertumbuhan. Menurut Kama *et al*. (2024) melaporkan bahwa efek paparan MP menyebabkan insang akan mengalami epitellium lepas, fragmentasi filamen dan edema di ujung lamela sekunder. Hasil penelitian (Pedà *et al*., 2016) menemukan bahwa MP salah satu penyebab kerusakan struktural dan fungsional usus, terutama di bagian distal, dengan perubahan patologis bertahap yang bervariasi dari sedang hingga parah. Salah satu MP yang dapat menimbulkan nekrosis sel epitel usus yang lebih serius adalah serat MP.

Dampak dari cemaran MP yang bersinggungan langsung dengan bagian luar maupun tertelan oleh ikan dapat merusak organ ikan. Penelitian yang mengembangkan metode histologi sebagai salah satu teknik analisis dalam penentuan kelayakan suatu perairan yang menggunakan ikan sebagai bio indikator kualitas suatu perairan khususnya di Bengkulu masih sedikit. Berdasarkan uraian tersebut, maka tujuan penelitian untuk menganalisis cemaran mikroplastik pada organ ikan dan analisis histologi organ insang dan usus pada ikan hasil tangkapan di Pulau Baai Provinsi Bengkulu.

MATERI DAN METODE

Alat yang digunakan pada penelitian ini yaitu dissecting set, bak bedah, aluminium foil, botol flakon, timbangan analitik, petridish, kaca benda dan kaca penutup, gelas beaker, pipet tetes, mikrotom, vacuum pump, mikroskop optilab, kertas saring whatman (1,6 µm), hot plate/ water bath, staining jar, oven, penggaris, milimeter blok, embedding cassette tissue, kamera HP dan alat tulis.

Bahan yang digunakan yaitu KOH 10%, alkohol bertingkat mulai dari 50%, 60%, 70%, 80%, 90%, 96% dan 100% %, xilol, es batu, toluol, NBF 10%, Aquades, paraffin, glyserin albumin, pewarna Hematoxylin-Eosin, entellan dan kertas label.

Analisis mikroplastik

Analisis Mikroplastik mengacu pada Yona *et al*. (2020) yang dimodifikasi. Alat disterilisasi terlebih dahulu sebelum digunakan. Ikan yang digunakan dalam penelitian ini meliputi *Euthynnus affinis* (tongkol), *Selaroides leptolepis* (selar), *Johnius* sp. (gulama), and *Lactarius lactarius* (kape-kape) dengan jumlah sampel yang digunakan masing-masing sebanyak 20 ekor. Sampel ikan kemudian diukur panjang (cm) dan beratnya (gr). Pembedahan dilakukan untuk mengambil organ insang dan usus lalu ditimbang dengan timbangan digital dan dicatat sebagai berat basah. Organ dilapisi aluminium foil kemudian dimasukkan ke dalam oven dengan suhu 75 °C selama 24 jam. Kemudian organ tersebut ditimbang kembali dicatat sebagai berat kering. Sampel yang sudah kering dimasukan ke tabung reaksi yang sebelumnya telah disterilisasi. Kemudian ditambahkan larutan KOH 10% ke dalam tabung reaksi dengan perbandingan 1:20. Perbandingan ini berarti 1 gr berat kering dari sampel organ ditambahkan 20 ml larutan KOH 10% lalu diinkubasi selama 24 jam. Selanjutnya dilakukan pemanasan dan homogenisasi menggunakan hotplate dengan suhu 65°C hingga larutan berubah menjadi bening. Kemudian penyaringan larutan sampel dengan menggunakan bantuan vacuum pump dan kertas saring Whatman no. 41. Kertas saring yang berisi sampel di keringkan kembali menggunakan oven dengan suhu 65 °C selama 24 jam. Kemudian diamati dengan menggunakan mikroskop binokuler. Identifikasi mikroplastik pada penelitian ini dilakukan secara morfologis tanpa menggunakan analisis Fourier Transform Infrared (FTIR) untuk identifikasi jenis polimer.

Pembuatan Preparat histologis

Ikan dilakukan pembedahan menggunakan dissecting kit dan dilakukan pengambilan organ.

Organ yang sudah diambil dimasukkan ke dalam NaCl 0,9% kemudian dilakukan fiksasi yang berisi NBF10% selama 24-48 jam. Setelah fiksasi, organ di keluarkan dari fiksatif dan dilakukan washing (pencucian) menggunakan alkohol 70%. Dehidrasi dilakukan dengan memasukkan organ ke dalam alkohol bertingkat 70%, 80%, 90%, dan alkohol absolut masing-masing selama 60 menit. *Clearing* dilakukan dengan memasukkan organ ke dalam toluol. Infiltrasi dilakukan dengan memasukkan organ ke dalam 4 kali parafin cair secara bertingkat masing-masing selama 60 menit. *Embedding* dilakukan pada organ yang ditanam dalam parafin cair dan dibiarkan mengeras pada *cassete embedding*. *Sectioning* dilakukan dengan memotong jaringan organ menggunakan mikrotom, dan menempelkan pada gelas benda yang telah diolesi dengan albumin meyer. Rehidrasi dengan memasukkan gelas benda ke dalam alkohol bertingkat. *Staining* dengan memasukkan gelas benda yang berisi jaringan ke dalam pewarna hematoksilin kemudian dilanjutkan dengan eosin. Dehidrasi dengan memasukkan gelas benda ke dalam alkohol bertingkat. Deparafinasi dengan memasukkan gelas benda ke dalam xylol selama 8-12 jam. *Mounting* dengan menutup gelas benda dengan deck glass menggunakan entelan.

Analisis Data

Untuk memudahkan dalam melihat dan mendokumentasikan partikel mikroplastik menggunakan optilab yang kemudian diukur dengan menggunakan software ImageJ. Perhitungan kelimpahan mikroplastik pada organ ikan sesuai sesuai dengan Guntur *et al*. (2021). Berikut perhitungan MP pada organ ikan.

$$\text{Kelimpahan Mikroplastik} = \frac{\text{jumlah partikel mikroplastik}}{\text{berat kering sampel (gr)}}$$

Analisis data histologi organ insang dan usus ikan yang diperoleh dihitung dan dianalisis secara deskriptif kualitatif. Disajikan dalam bentuk gambar untuk mengetahui gambaran histologi dan mengetahui kerusakan yang terjadi insang dan usus. Ikan yang didapatkan dilakukan identifikasi berdasarkan ciri morfologi yang dibandingkan sesuai tingkat kerusakan dan kelainan yang terjadi pada jaringan organ insang dan usus.

HASIL DAN PEMBAHASAN

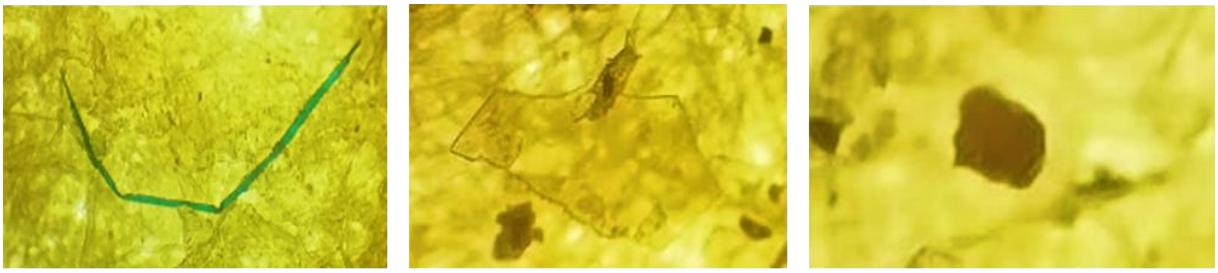
Ikan yang berhasil ditangkap menggunakan jaring ini pada penelitian ini merupakan ikan pelagis atau laut dangkal ke sedang yang meliputi jenis ikan seperti tongkol, selar, gulama, dan kape-kape. Berdasarkan hasil penelitian menunjukkan bahwa terdapat cemaran MP pada tubuh ikan, khususnya di organ insang dan usus. Berikut ini hasil pengamatan berbagai bentuk MP yang ditemukan pada insang dan usus (Gambar 1). Hasil pengamatan menunjukkan bahwa banyak mikroplastik di insang maupun usus ikan berupa filamen, fragmen, dan film (Gambar 1). Tidak dijumpai bentuk MP yang berupa pelet pada penelitian ini karena mungkin di perairan Bengkulu tidak tercemar oleh limbah pabrik plastik, karena menurut Purnama *et al*. (2021), Pelet merupakan MP utama yang diproduksi langsung di pabrik sebagai bahan baku produksi plastik. Penelitian Amin *et al.* (2024) juga melaporkan tidak menemukan MP pada baik pada organ ikan pelagis dan demersal. Penelitian dari beberapa sampel ikan di Indonesia juga melaporkan tidak menemukan MP dalam bentuk pellet, hal ini karena pelet cenderung lebih besar & berat serta kurang menyerupai makanan alami sehingga jarang tertelan ikan (Rochman *et al*., 2015; Wright *et al.*, 2013). Menurut Lin *et al*. (2020), bentuk pelet biasanya ditemukan pada perairan dengan pH basa dan memiliki sifat terikat dengan jenis logam lainnya.

Mikroplastik (MP) yang ditemukan pada penelitian ini menunjukkan variasi warna yang beragam. Bentuk filamen memiliki warna dominan biru, merah, dan hitam, sedangkan bentuk film umumnya berwarna transparan, serta fragmen didominasi warna coklat. Berdasarkan hasil pengamatan, warna MP yang paling dominan adalah hitam, yang sebagian besar berbentuk filamen, serta warna transparan yang umumnya berupa film. Selain itu, filamen berwarna biru ditemukan lebih banyak dibandingkan merah, sedangkan warna coklat lebih banyak dijumpai pada bentuk fragmen.

Temuan ini sejalan dengan beberapa penelitian sebelumnya yang melaporkan dominasi MP berwarna hitam (Basri *et al.,* 2021; Deswati *et al.*, 2023) yang diduga berasal dari warna dasar plastik maupun kontaminasi partikel organik di sekitarnya. MP berwarna hitam juga diketahui memiliki kemampuan tinggi dalam menyerap polutan, seperti PAH dan PCB, serta umumnya berkaitan dengan jenis polistirena dan

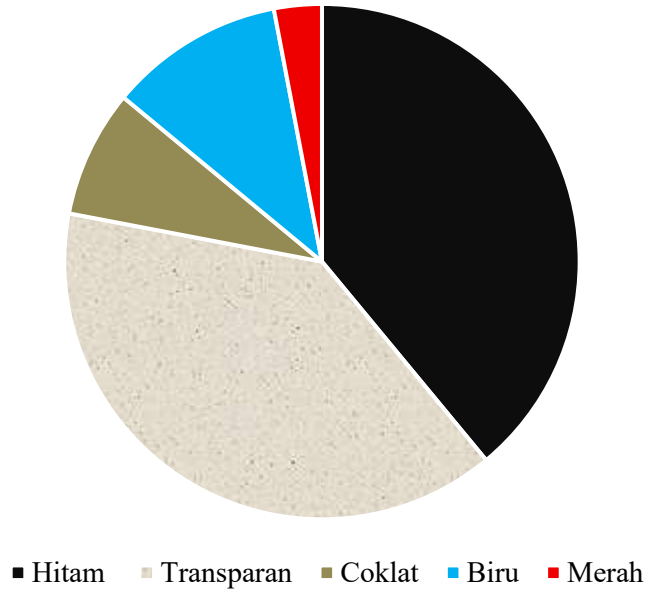
polipropilena (Azizah *et al*., 2020). Filamen berwarna biru dan merah memiliki morfologi menyerupai serat atau jaring ikan. Sementara itu, MP transparan banyak dijumpai pada bentuk film (Aryani *et al*., 2024) yang diduga berasal dari degradasi kantong plastik dari aktivitas manusia. Sedangkan MP yang berbentuk fragmen berasal dari pecahan botol, pipa maupun kemasan plastik yang lebih tebal (Dewi *et al.*, 2015). Variasi warna MP juga dipengaruhi oleh faktor fisik perairan, seperti arus, gelombang, serta paparan sinar matahari yang menyebabkan perubahan warna plastik menjadi lebih gelap atau pudar (An *et al*., 2024). Berikut ini merupakan persentase warna MP yang ditemukan pada organ insang dan usus ikan di Bengkulu (Gambar 2).

Mikroplastik yang tersebar di semua aspek kehidupan karena penggunaan plastik secara besar-besaran dalam segala aspek kehidupan tentunya akan berdampak pada banyak makhluk hidup, karena sifatnya yang bioakumulatif. Pada penelitian ini, mikroplastik ditemukan dalam tubuh ikan, pada insang dan usus yang dapat disebabkan karena mikroplastik mengkontaminasi perairan dan secara langsung kontak dengan insang melalui respirasi maupun secara tidak sengaja tertelan melalui proses makan sehingga dapat ditemukan di usus. Selain itu, melalui proses rantai makanan dimana mangsa dari ikan tersebut juga telah terkontaminasi mikroplastik sehingga ikan tersebut ikut terkontaminasi, dan terakumulasi dalam tubuh (Yona *et al.*, 2019). Jumlah mikroplastik yang ditemukan pada ikan juga beragam dan berbeda pada setiap organ. Berikut ini merupakan hasil analisis jumlah mikroplastik pada beberapa jenis ikan khususnya pada organ insang dan usus.

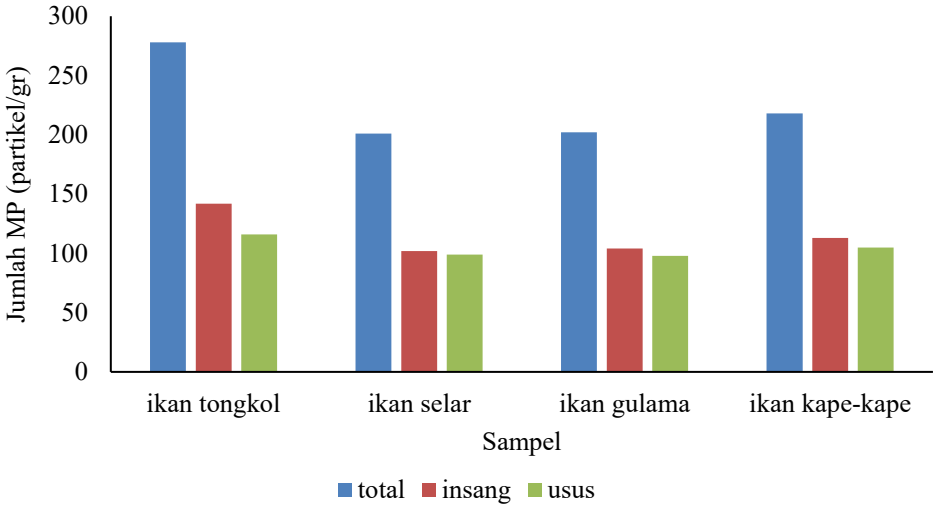


a b c

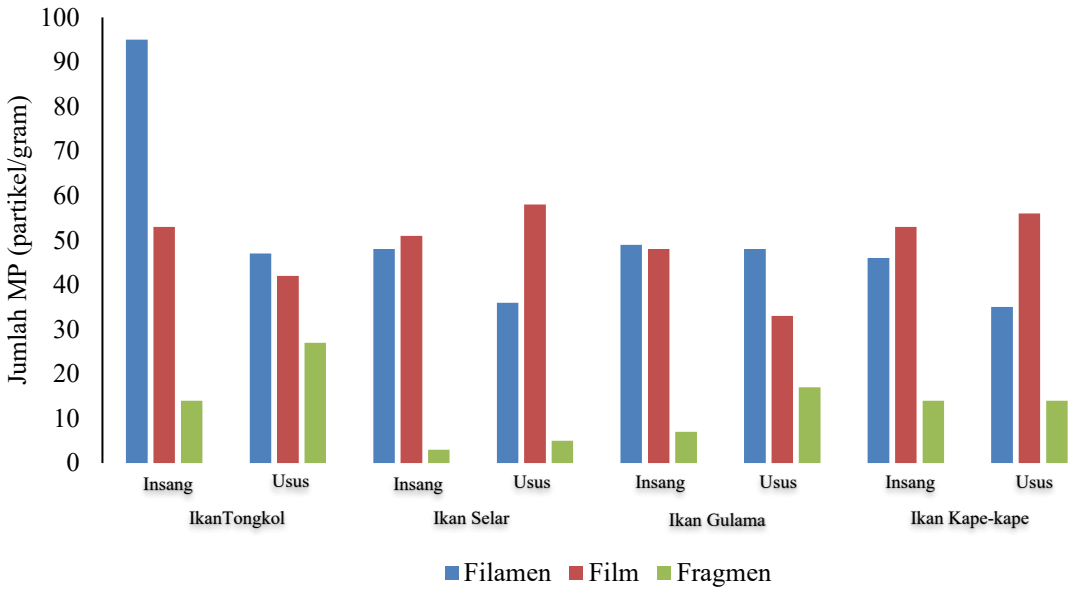
Gambar 1. Berbagai bentuk mikroplastik yang ditemukan pada organ insang dan usus ikan
Keterangan: a. filamen, b. film, c. Fragmen



Gambar 2. Persentase warna MP yang ditemukan pada organ ikan



Gambar 3. Jumlah Mikroplastik pada Ikan (partikel/gram)



Gambar 4. Perbandingan Jumlah Mikroplastik pada Organ Insang dan Usus Berdasarkan Bentuk Mikroplastik

Berdasarkan hasil penelitian menunjukkan bahwa semua jenis ikan pada penelitian ini ditemukan adanya mikroplastik di organ insang dan usus. Berdasarkan hasil perhitungan total jumlah MP yang ditemukan pada organ insang secara umum lebih banyak daripada organ usus. Berdasarkan grafik (Gambar 3) menunjukkan bahwa pada ikan tongkol baik pada organ insang dan usus ditemukan MP tertinggi dibandingkan jenis ikan lainnya. Insang ikan tongkol juga terdeteksi banyak kandungan mikroplastik daripada organ usus. Hal ini dapat disebabkan karena secara umum ukuran ikan tongkol jauh lebih besar daripada jenis ikan lainnya. Karena semakin besar organisme maka paparan mikroplastik yang didapatkan juga semakin tinggi karena organisme dapat bioakumulasi dan biomagnifikasi. Selain itu, perbedaan paparan MP juga dapat disebabkan oleh perbedaan jenis makanan dan tipe makanan tiap spesies ikan. pada beberapa ikan pelagis cenderung melakukan migrasi jarak jauh dan lebih banyak berenang pada area perairan yang luas. Hal ini juga diperkuat oleh Nelms *et al*. (2018) yang menyatakan bahwa berdasarkan faktor pola migrasi, kebiasaan makan, serta sifat partikel mikroplastik, maka ikan pelagis

lebih banyak terkontaminasi mikroplastik daripada ikan demersal. Selain itu, Amin et al. (2024) juga menemukan bahwa adanya kebiasaan makan ikan pelagis di kolom air, sehingga mereka mungkin bersentuhan dengan mikroplastik yang telah terakumulasi di permukaan laut dibandingkan ikan demersal yang cenderung hidup di laut dalam.

Berdasarkan hasil perhitungan bentuk MP pada organ (Gambar 4), maka pada organ insang menunjukkan banyak ditemukan bentuk filamen. Sedangkan rata-rata bentuk film dan fragmen lebih banyak ditemukan di usus ikan. Pada penelitian juga menunjukkan MP yang mendominasi baik pada organ insang dan usus berupa filamen. Dominansi filamen pada ikan ini seperti yang ditemukan pada beberapa penelitian ikan tangkapan di perairan pantai dan perairan tawar di China (Jabeen *et al*., 2018), pada ikan-ikan karang di sepanjang Laut Merah Saudi Arabia (Baalkhuyur *et al*., 2018) dan pada ikan konsumsi di Laut Mediterania (Giani *et al*., 2019). Filamen termasuk jenis MP yang mendominasi di kolom perairan karena karena merupakan serat plastik memanjang yang banyak berasal dari kegiatan rumah tangga maupun kegiatan perikanan (Bessa *et al*., 2018; Yona *et al*., 2019). Pozo *et al*. (2019) juga melaporkan dalam penelitiannya bahwa ikan-ikan yang hidup di perairan pantai yang dekat dengan kegiatan manusia cenderung rentan terpapar oleh MP jenis filamen. Hal ini juga yang dapat menjadi alasan ditemukannya mikroplastik jenis filamen pada ikan karang di wilayah perairan Papua. Beberapa penelitian sebelumnya juga menemukan tipe MP yang banyak ditemui adalah tipe filamen dengan dominasi warna hitam dan biru tua. Penelitian Ridlo *et al*. (2020) juga melaporkan bahwa jenis yang banyak ditemukan yaitu filamen dibandingkan film. Menurut Zhang *et al*. (2017), filamen memiliki bentuk dan ukuran yang tipis yang menyebabkan bentuk ini sering ditemukan mengapung di permukaan.

Pada penelitian ini juga menemukan bahwa jenis film juga hampir sama tingginya dengan jumlah filamen. Berdasar penelitian Amin *et al*. (2024) melaporkan pada ketiga jenis sampel ikan pelagis ditemukan bahwa jumlah rata-rata mikroplastik bentuk film adalah yang paling banyak ditemukan. Berdasar penelitian Ghosh *et al*. (2021) melaporkan bahwa jumlah rata-rata mikroplastik bentuk film ditemukan terbanyak kedua setelah filament/fiber. Hal ini dapat disebabkan karena ukuran film relatif lebih kecil dan transparan, sehingga dapat menyerupai makanan alami bagi ikan. Film merupakan polimer plastik sekunder yang diperoleh dari kantong plastik atau sisa kemasan plastik dan memiliki kepadatan paling rendah. Serta fragmen adalah produk plastik bagian yang terbuat dari polimer sintetik yang sangat kuat. Menurut Widiyanto *et al*. (2025) menyatakan bahwa densitas partikel MP semakin rendah maka akan menyebabkan partikel mikroplastik tersebut akan semakin mengapung di permukaan perairan.

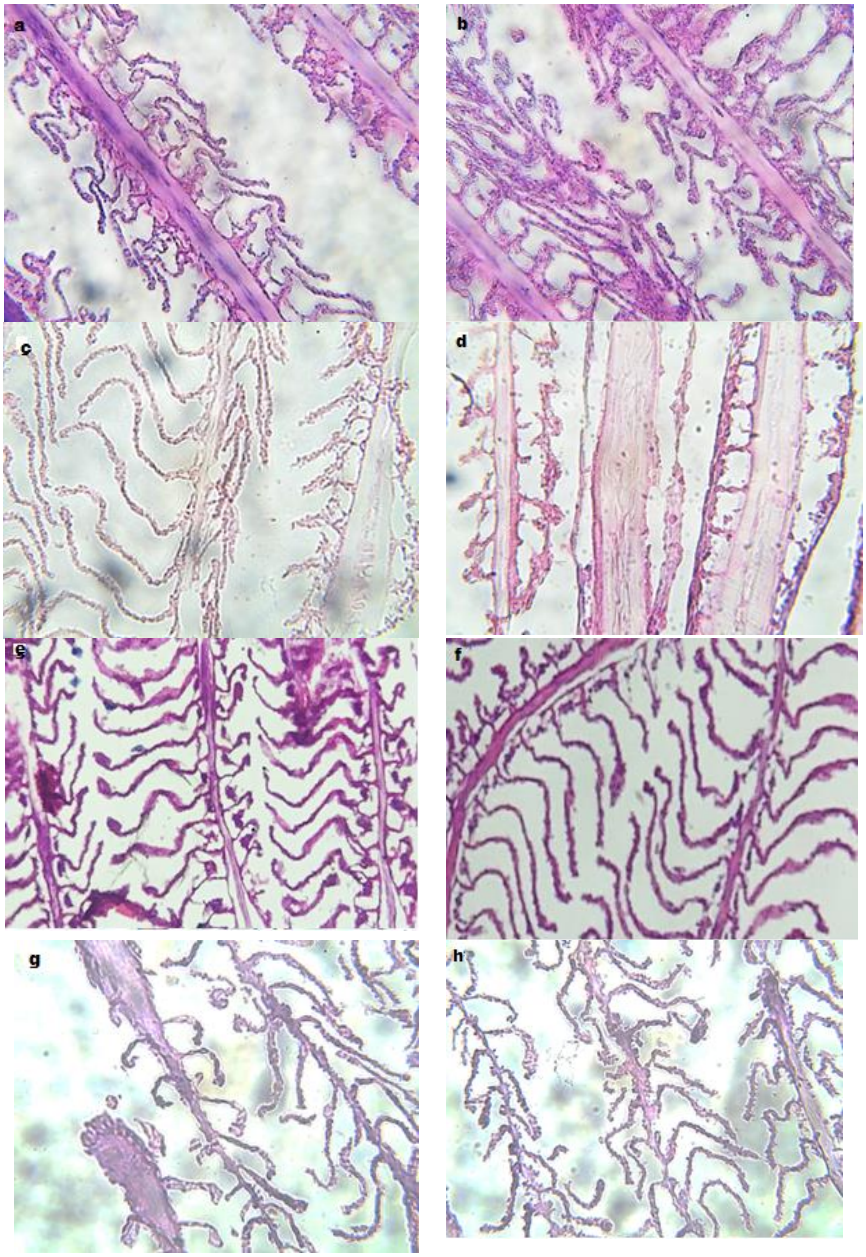
Berdasarkan hasil analisis histologi insang dan usus ikan pelagis yang terdiri dari ikan tongkol, selar, gulama dan kape-kape menunjukkan bahwa terjadi kerusakan pada beberapa jaringan ikan. Gambaran histologi insang dan usus dapat dilihat pada Gambar 5.

Berdasarkan hasil gambaran histologi (Gambar 5) menunjukkan bahwa terjadi kerusakan pada struktur insang yang meliputi fusi lamela sekunder (5a, 5d, dan 5e), lifting epitel (5b, 5c, 5e, 5h), hiperplasia (5a, 5b, 5d, 5e), pemendekan lamela sekunder (5c, 5e). Menurut Maftuch *et al*. (2015) Hiperplasia berat ditandai terbentuknya ruang-ruang antar lamela sekunder terisi oleh sel-sel baru disertai terjadinya *rupture epithel* yang ditandai lepasnya sel-sel dari tiang penyokongnya akhirnya lamela insang rusak dan tidak terlihat utuh lagi. Indrayani *et al*. (2014) menyatakan bahwa proses respirasi dapat terganggu dengan adanya bahan toksik berupa polutan akan melekat pada lendir yang disekresi sehingga menutupi lamela lamela sehingga menganggu proses pertukaran O_2 dan CO_2 di insang. Penebalan lamela sekunder juga menyebabkan pertukaran ion di sel epitel terganggu. Menurut Prasetyo *et al*. (2023) fusi lamela merupakan kerusakan yang cukup berat, fusi lamela terjadi karena kerusakan hiperplasia yang terus menerus dan akan terjadi pelekatan antara dua lamela. Khalil *et al*. (2021) dalam penelitiannya juga menjelaskan bahwa fusi lamela dapat terjadi karena adanya hiperplasia yang menyebar pada sel-sel basal dan epithelium.

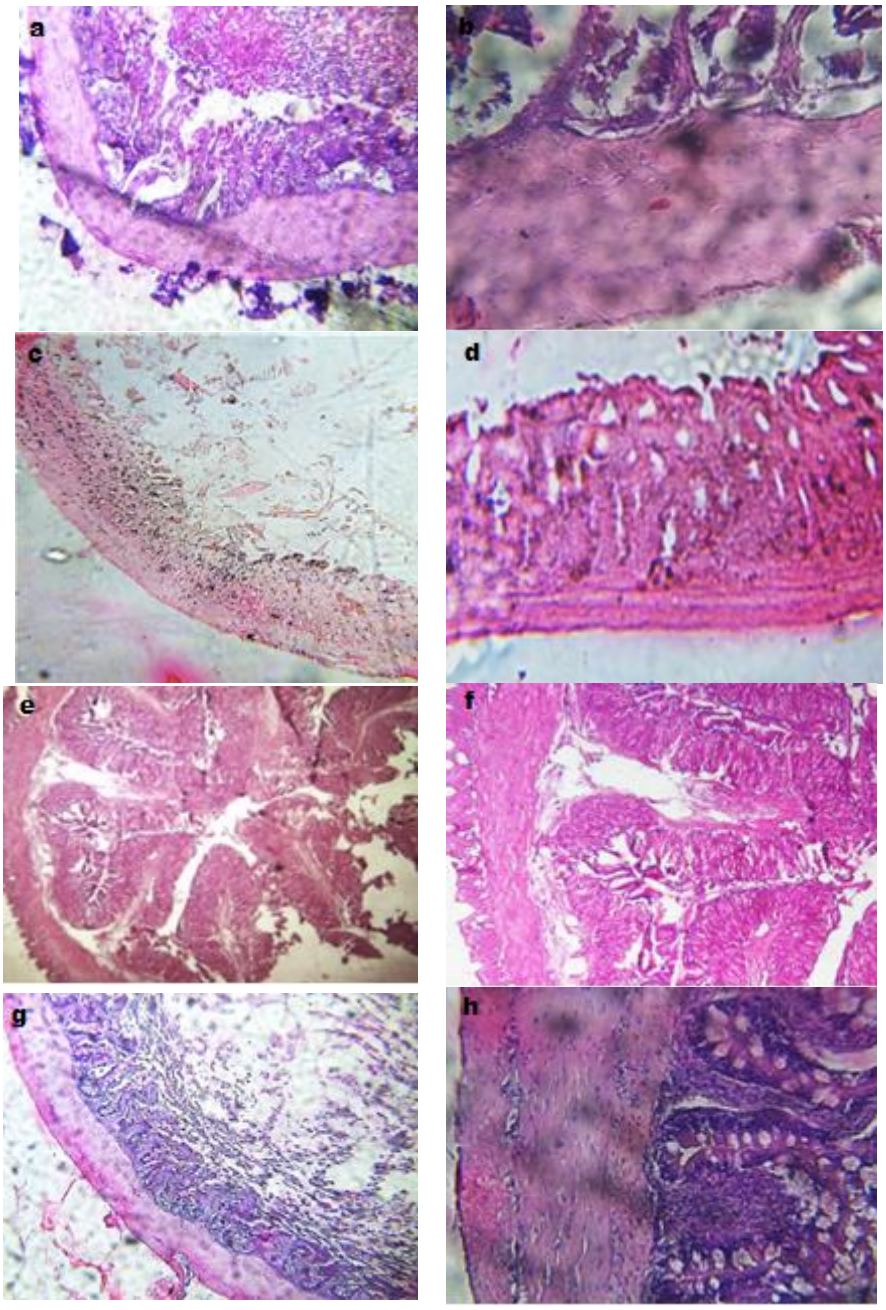
Penelitian Raza *et al*. (2023) Hasil histologi menunjukkan adanya perubahan histologi yang nyata pada insang *O. niloticus* yang diberi perlakuan mikroplastik poliakrilamid seperti ujung lamela sekunder yang bergerigi, fusi lamela sekunder, vakuolisasi, edema, aneurisme, hiperplasia, degenerasi sel epitel, sel eritrosit, filamen fusi, nekrosis, lamela epitel sekunder, pengangkatan epitel insang, kongesti, kelengkungan dan degenerasi ujung. Limonta *et*

al. (2019) bahwa pada ikan zebra yang terpapar mikroplastik menunjukkan perubahan epitel insang, peningkatan terjadinya neutrofil, adhesi dan fusi lamela sekunder, serta hipersekresi mukosa, kerusakan epitel pada jaringan insang, seperti pelepasan epitel dan hilangnya lamela sekunder insang. Menurut Barboza *et al.* (2020) ikan yang diduga terpapar mikroplastik pada filamen insang mengakibatkan kerusakan pada insang yang mengurangi efisiensi insang dalam proses respirasi dan berakibat fatal karena tubuh memerlukan oksigen.

Perubahan struktur dialami usus dilihat pada Gambar 6 mengalami kerusakan pada beberapa bagian vili. Kerusakan erosi vili dapat dilihat pada gambar (6b,6d, dan 6f), yang nampak kehilangan sebagian dari epitel pada bagian mukosa yang mengakibatkan ketebalan lapisan mukosa lebih tipis yang dapat mengganggu ikan dalam penyerapan nutrisi. Selain itu, pada gambar tersebut juga ditemukan perubahan pada bagian submukosa dan serosa terdapat perubahan berupa edema. Edema ditandai dengan bagian yang terlihat membengkak dan mengecil ini terjadi karena



Gambar 5. Gambaran histologi insang ikan, perbesaran 100x. a-b.insang tongkol, c-d. insang selar, e-f. insang gulama, g-h. insang kape-kape.



Gambar 6. Gambaran histologi usus ikan, perbesaran 100x (a,c,e,g), perbesaran 400x (b,d,f,h). a-b.usus tongkol, c-d. usus selar, e-f. usus gulama, g-h. usus kape-kape.

jaringan mengakumulasi cairan yang abnormal. Gambar 6h menunjukkan adanya infiltrasi sel leukosit yang muncul biasanya sebagai respon inflamasi. Pada gambar 6 tersebut juga nampak jelas beberapa peningkatan jumlah sel goblet (6h), bahkan hilangnya sel goblet (6a dan 6f). Sel goblet ini merupakan pertahanan tubuh yang menghasilkan mukus yang berperan melindungi mukosa usus dari kerusakan mekanik dan kimia.

Penelitian ini menunjukkan ada usus yang terjadi peningkatan sel goblet pada usus kape-kape sesuai dengan hasil penelitian Pedà *et al.* (2016) yang menemukan bahwa paparan MP sebagai penyebab kerusakan struktural dan fungsional usus, terutama di bagian distal. Setelah 30 hari terpapar, usus ikan memberikan strategi pertahanan pertama dengan mengeluarkan lendir dan meningkatkan jumlah sel goblet. Dibona

(2018) juga melaporkan bahwa paparan MP pada Medaka menunjukkan adanya peningkatan sel goblet dan infiltrasi leukosit. Namun, penelitian ini juga menunjukkan sel goblet justru mengalami penurunan,seperti usus ikan tongkol, hal ini juga dilaporkan oleh Ahrendt *et al.* (2020) dalam studinya menemukan keberadaan MP yang berada di usus justru dapat mengakibatkan hilangnya sel goblet dan rendahnya proses pemanjangan vili yang berpengaruh dalam proses menyerap makanan. Menurut Qiao *et al*. (2019) bahwa serat atau fiber mikroplastik dapat mengurangi cakupan sel goblet dan volume lendir di usus, yang menunjukkan kerusakan epitel usus yang disebabkan oleh serat MP. Penelitian Limonta *et al*. (2019) menemukan pemaparan MP dengan konsentrasi yang tinggi dapat mengakibatkan hilangnya sel goblet.

Berdasarkan gambar histologi tersebut juga dapat terlihat epitel mukosa terlepas dari lamina propria. Pedà *et al.* (2016) juga melaporkan ikan zebra setelah pemaparan mikroplastik selama 60 hari, epitel mukosa terlihat terlepas dari lamina propria. Epitel mukosa menunjukkan perubahan yang dipengaruhi berbagai agen kontaminan. Sehingga ikan yang diberi pakan mikroplastik mengalami perubahan histopatologi pada usus seperti terlepasnya epitel mukosa, *hyperplasia*, pemendekan, dan pembengkakan vili, vakuolisasi. Hal ini juga diperkuat oleh Liu *et al.* (2023) pada penelitiannya menemukan bahwa usus setelah terpapar mikroplastik jenis PVC, terjadi kerusakan vili, termasuk pecahnya sebagian vili usus, lepasnya sebagian epitel, pembengkakan dan vakuola vili usus.

Mikroplastik mirip dengan mangsa alami yang dikonsumsi. Keberadaan mikroplastik di usus diakibatkan oleh cara makan, cara berenang dan habitat ikan (Lehtiniemi *et al*., 2018). Mikroplastik akan terakumulasi di saluran pencernaan yang berpotensi melukai dan menyumbat saluran pencernaannya serta senyawa polimer pada mikroplastik yang beracun akan mengganggu fisiologis tubuh ikan (Azizah *et al*., 2020). Ikan yang mengonsumsi mikroplastik mengikis epitel pada vili usus dan kerusakan struktural epitel usus. Kerusakan ini tentu saja dapat mempengaruhi proses sekresi, pencernaan, dan penyerapan sehingga mengurangi penyerapan makanan, dan akhirnya, asupan energi (Ahrendt *et al*., 2020).

Berdasarkan hasil penelitian ini menunjukkan bahwa adanya kerusakan struktur insang dan usus ikan pelagis di perairan pantai Bengkulu dapat disebabkan oleh banyaknya faktor pencemar di perairan laut Bengkulu. Mikroplastik yang ditemukan pada penelitian ini di organ ikan menunjukkan bahwa MP sebagai salah satu pencemar di perairan yang dapat menyebabkan masalah dan gangguan pada ikan, khususnya pada organ insang dan usus. Ikan bersifat mengakumulasi MP pada tubuhnya sehingga jika dalam jangka waktu yang panjang dapat menyebabkan gangguan fisiologis bahkan kelangsungan hidup ikan. Meskipun berdasarkan histologi tidak menyebabkan kerusakan yang parah, namun perlu kajian lebih mendalam terkait dampak MP pada ikan di perairan laut Bengkulu. Selain itu, konsumsi ikan yang tercemar MP dalam jangka waktu yang panjang juga dapat menyebabkan masalah kesehatan pada manusia, karena MP akan terakumulasi pada tubuh manusia. Sehingga, penelitian ini menjadi salah satu landasan untuk penelitian lebih lanjut terkait dampak mikroplastik secara global.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian, organ insang dan usus ikan telah terkontaminasi mikroplastik, dengan jumlah tertinggi ditemukan pada ikan tongkol. Tipe mikroplastik yang paling dominan pada insang maupun usus adalah filamen. Selain itu, pada organ usus ditemukan mikroplastik berbentuk filamen, fragmen, dan film dalam jumlah lebih tinggi dibandingkan pada insang. Kondisi ini diduga berkaitan dengan perilaku makan ikan yang memungkinkan partikel mikroplastik lebih mudah terakumulasi di saluran pencernaan. Keberadaan mikroplastik pada insang dan usus ikan di kawasan Pulau Baai menunjukkan bahwa ekosistem pesisir Bengkulu telah mengalami pencemaran plastik yang berpotensi menimbulkan dampak ekologis yang signifikan. Akumulasi mikroplastik pada organ vital ikan tidak hanya mencerminkan tingginya tekanan pencemaran di lingkungan perairan, tetapi juga mengindikasikan adanya potensi risiko terhadap kesehatan biota akuatik serta kestabilan rantai trofik. Oleh karena itu, hasil penelitian ini mendukung pemanfaatan ikan sebagai organisme biomonitoring pencemaran mikroplastik sekaligus menegaskan pentingnya penerapan strategi mitigasi pencemaran plastik dalam pengelolaan ekosistem pesisir secara berkelanjutan.

DAFTAR PUSTAKA

Ahrendt, C., Perez-Venegas, D.J., Urbina, M., Gonzalez, C., Echeveste, P., Aldana, M.,

Pulgar, J. & Galbán-Malagón, C., 2020. Microplastic ingestion cause intestinal lesions in the intertidal fish *Girella laevifrons*. *Marine Pollution Bulletin*, 151: 110795. doi: 10.1016/j.marpolbul.2019.110795

Aişeoğlu, B. & Parmaksız, A., 2024. Assessing the effects of microplastics on freshwater fish. *International Journal of Nature and Life Sciences*, 8(2): 88-101. doi: 10.47947/ijnls.1496421

Amin, M.F., Syahdan, M. & Yuliyanto, Y., 2024. Analisis kandungan mikroplastik pada ikan pelagis dan demersal yang didaratkan di Pelabuhan Perikanan Banjar Raya Banjarmasin Provinsi Kalimantan Selatan. *Marine Coastal and Small Islands Journal - Jurnal Ilmu Kelautan*, 7(1): 1-10. doi: 10.20527/m.v7i1.11822

An, X., Wang, Y., Adnan, M., Li, W. & Zhang, Y., 2024. Natural factors of microplastics distribution and migration in water: a review. *Water*, 16(11): 1595. doi: 10.3390/w16111595

Aryani, D., Hasanah, A.N., Haryati, S. & Pratama, R., 2024. Identifikasi mikroplastik pada ikan bandeng (*Chanos chanos*) dan ikan tongkol (*Euthynnus affinis*) di Pasar Tradisional Kranggot, Cilegon-Banten. *Berita Biologi*, 23(2): 311-319. doi: 10.55981/beritabiologi.2024.4964

Ayun, D.Q. & Mustakim, M., 2023. Microplastic content in the digestive tract of snapper fish in the Pangempang Waters, Muara Badak, East Kalimantan. *Jurnal Unmul*, 2(2): 176-182.

Azizah, P., Ridlo, A. & Suryono, C.A., 2020. Mikroplastik pada sedimen di Pantai Kartini Kabupaten Jepara, Jawa Tengah. *Journal of Marine Research*, 9(3): 326-332. doi: 10.14710/jmr.v9i3.28197

Banaee, M., Multisanti, C.R., Impellitteri, F., Piccione, G. & Faggio, C., 2025. Environmental toxicology of microplastic particles on fish: a review. *Comparative Biochemistry and Physiology Part C: Toxicology and Pharmacology*, 287: 110042. doi: 10.1016/j.cbpc.2024.110042

Barboza, L.G.A., Dick Vethaak, A., Lavorante, B.R.B.O., Lundebye, A.K. & Guilhermino, L., 2018. Marine microplastic debris: an emerging issue for food security, food safety and human health. *Marine Pollution Bulletin*, 133: 336-348. doi: 10.1016/j.marpolbul.2018.05.047

Barboza, L.G.A., Lopes, C., Oliveira, P., Bessa, F., Otero, V., Henriques, B., Raimundo, J., Caetano, M., Vale, C. & Guilhermino, L., 2020. Microplastics in wild fish from North East Atlantic Ocean and its potential for causing neurotoxic effects, lipid oxidative damage, and human health risks associated with ingestion exposure. *Science of the Total Environment*, 717: 134625. doi: 10.1016/j.scitotenv.2019.134625

Basri, K.S., K, B., Syaputra, E.M. & Handayani, S., 2021. Microplastic pollution in waters and its impact on health and environment in Indonesia: a review. *Journal of Public Health for Tropical and Coastal Region*, 4(2): 63-77. doi: 10.14710/jphtcr.v4i2.10809

Bessa, F., Barría, P., Neto, J.M., Frias, J.P.G.L., Otero, V., Sobral, P. & Marques, J.C., 2018. Occurrence of microplastics in commercial fish from a natural estuarine environment. *Marine Pollution Bulletin*, 128: 575-584. doi: 10.1016/j.marpolbul.2018.01.044

Bhuyan, M.S., 2022. Effects of microplastics on fish and in human health. *Frontiers in Environmental Science*, 10(March): 1-17. doi: 10.3389/fenvs.2022.827289

Burns, E.E. & Boxall, A.B.A., 2018. Microplastics in the aquatic environment: evidence for or against adverse impacts and major knowledge gaps. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 37(11): 2776-2796. doi: 10.1002/etc.4268

Choi, J.S., Jung, Y.-J., Hong, N.-H., Hong, S.H. & Park, J.-W., 2018. Toxicological effects of irregularly shaped and spherical microplastics in a marine teleost, the sheepshead minnow (*Cyprinodon variegatus*). *Marine Pollution Bulletin*, 129(1): 231-240. doi: 10.1016/j.marpol bul.2018.02.039

de Sá, L.C., Luís, L.G. & Guilhermino, L., 2015. Effects of microplastics on juveniles of the common goby (*Pomatoschistus microps*): confusion with prey, reduction of the predatory performance and efficiency, and possible influence of developmental conditions. *Environmental Pollution*, 196: 359-362. doi: 10.1016/j.envpol.2014.10.026

Deswati, Olly Norita Tetra, Ulfi Febriani, S.S., Pardi, H. & Putra, A., 2023. Detection of microplastic in sediments at beach tourism area of Muaro Lasak, Padang City, West

Sumatra, Indonesia. *AACL Bioflux*, 16(5): 2765-2780.

Dewi, I.S., Aditya, A. & Ramadhan, I., 2015. Distribution of microplastic at sediment in the Muara Badak Subdistrict, Kutai Kartanegara Regency. *Jurnal DEPIK*, 4(3): 121-131.

Eriksen, M., Lebreton, L.C.M., Carson, H.S., Thiel, M., Moore, C.J., Borerro, J.C., Galgani, F., Ryan, P.G. & Reisser, J., 2014. Plastic pollution in the world's oceans: more than 5 trillion plastic pieces weighing over 250,000 tons afloat at sea. *PLoS ONE*, 9(12): 1-15. doi: 10.1371/journal.pone.0111913

Fajri, A., Rahman, A. & Yani, A.P., 2020. Keragaman ikan laut dangkal Provinsi Bengkulu. *Jurnal Enggano*, special issue seminar nasional virtual: 424-438.

Ghosh, G.C., Akter, S.M., Islam, R.M., Habib, A., Chakraborty, T.K., Zaman, S., Kabir, A.H.M.E., Shipin, O.V. & Wahid, M.A., 2021. Microplastics contamination in commercial marine fish from the Bay of Bengal. *Regional Studies in Marine Science*, 44: 101728. doi: 10.1016/j.rsma.2021.10 1728

Giani, D., Baini, M., Galli, M., Casini, S. & Fossi, M.C., 2019. Microplastics occurrence in edible fish species (*Mullus barbatus* and *Merluccius merluccius*) collected in three different geographical sub-areas of the Mediterranean Sea. *Marine Pollution Bulletin*, 140: 129-137. doi: 10.1016/j.marpol bul.2019.01.005

Granby, K., Rainieri, S., Rasmussen, R.R., Kotterman, M.J.J., Sloth, J.J., Cederberg, T.L., Barranco, A., Marques, A. & Larsen, B.K., 2018. The influence of microplastics and halogenated contaminants in feed on toxicokinetics and gene expression in European seabass (*Dicentrarchus labrax*). *Environmental Research*, 164. doi: 10.1016/j.envres.2018.02.035

Guntur, G., Asadi, M.A. & Purba, K., 2021. Ingestion of microplastics by anchovies of the Madura Strait, Indonesia. *AACL Bioflux*, 14(3): 1163-1170.

Hu, L., Chernick, M., Lewis, A.M., Lee Ferguson, P. & Hinton, D.E., 2020. Chronic microfiber exposure in adult Japanese medaka (*Oryzias latipes*). *PLoS ONE*, 15(3): 5-7. doi: 10.1371/journal.pone.0229962

Indrayani, D., Yusfiati & Elvyra, R., 2014. Struktur insang ikan *Ompok hypophthalmus* (Bleeker 1846) dari perairan Sungai Siak Kota Pekanbaru. *JOM FMIPA*, 1(2): 402.

Jabeen, G., Manzoor, F., Javid, A., Azmat, H., Arshad, M. & Fatima, S., 2018. Evaluation of fish health status and histopathology in gills and liver due to metal contaminated sediments exposure. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 100(4): 492-501. doi: 10.1007/ s00128-018-2295-7

Kama, N.A., Djawad, M.I. & Yaqin, K., 2024. Effects of microplastics on the oxygen consumption and histological changes of the cultured Nile tilapia *Oreochromis niloticus*. *Egyptian Journal of Aquatic Biology and Fisheries*, 28(5): 945-960. doi: 10.21608/ ejabf.2024.382106

Khalil, M., Zulfikar & Saifullah, 2021. Pengaruh insektisida golongan organofosfat terhadap benih ikan nila gift (*Oreochromis niloticus*, Bleeker): analisis histologi hati dan insang. *Acta Aquatica*, 8(8): 98-102.

Lebreton, L. & Andrady, A., 2019. Future scenarios of global plastic waste generation and disposal. *Palgrave Communications*, 5(1): 1-11. doi: 10.1057/s41599-018-0212-7

Lehtiniemi, M., Hartikainen, S., Näkki, P., Engström-Öst, J., Koistinen, A. & Setälä, O., 2018. Size matters more than shape: ingestion of primary and secondary microplastics by small predators. *Food Webs*, 17: e00097. doi: 10.1016/j.fooweb.2018.e00097

Lei, L., Wu, S., Lu, S., Liu, M., Song, Y., Fu, Z., Shi, H., Raley-Susman, K.M. & He, D., 2018. Microplastic particles cause intestinal damage and other adverse effects in zebrafish *Danio rerio* and nematode *Caenorhabditis elegans*. *Science of the Total Environment*, 619-620: 1-8. doi: 10.1016/j.scitotenv.2017. 11.103

Limonta, G., Mancia, A., Benkhalqui, A., Bertolucci, C., Abelli, L., Fossi, M.C. & Panti, C., 2019. Microplastics induce transcriptional changes, immune response and behavioral alterations in adult zebrafish. *Scientific Reports*, 9(1): 1-11. doi: 10.1038/ s41598-019-52292-5

Lin, J., Yan, D., Fu, J., Chen, Y. & Ou, H., 2020. Ultraviolet-C and vacuum ultraviolet inducing surface degradation of microplastics. *Water Research*, 186: 116360. doi: 10.1016/j. watres.2020.116360

Liu, X., Liang, C., Zhou, M., Chang, Z. & Li, L., 2023. Exposure of *Cyprinus carpio* var.

larvae to PVC microplastics reveals significant immunological alterations and irreversible histological organ damage. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 249. doi: 10.1016/j.ecoenv.2022.114377

Lusher, A., Hollman, P. & Mendozal, J., 2017. *Microplastics in Fisheries and Aquaculture: Status of Knowledge on Their Occurrence and Implications for Aquatic Organisms and Food Safety*. FAO Fisheries and Aquaculture Technical Paper 615. doi: 978-92-5-109882-0

Maftuch, Marsoedi, Damayanti, P.V., Holil, L.M. & Haryo, W.F.K., 2015. Studi ikan bandeng (*Chanos chanos*) yang dibudidayakan di tambak tercemar limbah Kadmium (Cd) dan Timbal (Pb) di Kalanganyar, Sidoarjo, Jawa Timur terhadap histopatologi hati, ginjal dan insang. *Journal of Environmental Engineering & Sustainable Technology*, 2(2): 114-122.

Nelms, S.E., Galloway, T.S., Godley, B.J., Jarvis, D.S. & Lindeque, P.K., 2018. Investigating microplastic trophic transfer in marine top predators. *Environmental Pollution*, 1-9. doi: 10.1016/j.envpol.2018.02.016

Ningrum, P.T., Negoro, A.H.S., Nurdiansyah, Y., Indahyani, D.E. & Kusnadi, 2023. Microplastic contamination in marine fish and shells in the coastal areas of Jember Regency, Indonesia. *Jurnal Ilmiah Perikanan dan Kelautan*, 15(1): 201-211. doi: 10.20473/ jipk.v15i1.34888

Parker, B., Andreou, D., Green, I.D. & Britton, J.R., 2021. Microplastics in freshwater fishes: occurrence, impacts and future perspectives. *Fish and Fisheries*, 22(3): 467-488. doi: 10.1111/faf.12528

Pedà, C., Caccamo, L., Fossi, M.C., Gai, F., Andaloro, F., Genovese, L., Perdichizzi, A., Romeo, T. & Maricchiolo, G., 2016. Intestinal alterations in European sea bass *Dicentrarchus labrax* (Linnaeus, 1758) exposed to microplastics: preliminary results. *Environmental Pollution*, 212: 251-256. doi: 10.1016/j.envpol.2016.01.083

Pozo, K., Gomez, V., Torres, M., Vera, L., Nuñez, D., Oyarzún, P., Mendoza, G., Clarke, B., Fossi, M.C., Baini, M., Přibylová, P. & Klánová, J., 2019. Presence and characterization of microplastics in fish of commercial importance from the Biobío region in central Chile. *Marine Pollution Bulletin*, 140: 315-319. doi: 10.1016/j.marpol bul.2019.01.025

Prasetyo, Y.E., Abida, I.W., Laksani, M.R.T. & Putri, R.R., 2023. Histopatologi jaringan insang ikan betok (*Anabas testudineus* Bloch, 1792) akibat paparan logam berat kromium (Cr) di Sungai Desa Geluran Kabupaten Sidoarjo. *Juvenil: Jurnal Ilmiah Kelautan dan Perikanan*, 3(4): 134-142. doi: 10.21107/juvenil.v3i4.17615

Purnama, D., Johan, Y., Wilopo, M.D., Renta, P.P., Sinaga, J.M., Yosefa, J.M. & M, H.M., 2021. Analisis mikroplastik pada saluran pencernaan ikan tongkol (*Euthynnus affinis*) hasil tangkapan nelayan di Pelabuhan Perikanan Pulau Baai Kota Bengkulu. *Jurnal Enggano*, 6(1): 110-124.

Qiao, R., Deng, Y., Zhang, S., Wolosker, M.B., Zhu, Q., Ren, H. & Zhang, Y., 2019. Accumulation of different shapes of microplastics initiates intestinal injury and gut microbiota dysbiosis in the gut of zebrafish. *Chemosphere*, 236: 124334. doi: 10.1016/j.chemosphere.2019.07.065

Raza, T., Rasool, B., Asrar, M., Manzoor, M., Javed, Z., Jabeen, F. & Younis, T., 2023. Exploration of polyacrylamide microplastics and evaluation of their toxicity on multiple parameters of *Oreochromis niloticus*. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 30(2): 103518. doi: 10.1016/j.sjbs.2022.103518

Ridlo, A., Ario, R., Al Ayyub, A.M., Supriyantini, E. & Sedjati, S., 2020. Mikroplastik pada kedalaman sedimen yang berbeda di Pantai Ayah Kebumen Jawa Tengah. *Jurnal Kelautan Tropis*, 23(3): 325-332. doi: 10.14710/jkt.v23i3.7424

Rochman, C.M., Tahir, A., Williams, S.L., Baxa, D.V., Lam, R., Miller, J.T., Teh, F.C., Werorilangi, S. & Teh, S.J., 2015. Anthropogenic debris in seafood: plastic debris and fibers from textiles in fish and bivalves sold for human consumption. *Scientific Reports*, 5(August): 1-10. doi: 10.1038/srep14340

Suet, T., Amelia, M., Mohd, W., Wan, A., Khalik, M., Ong, M.C. & Shao, Y.T., 2021. Marine microplastics as vectors of major ocean pollutants and its hazards to the marine ecosystem and humans. *Progress in Earth and Planetary Science*, 8(1): 1-26.

Widiyanto, I.N., Widiastuti, E.L., Luh, N., Ratna, G., Hasani, Q. & Nurcahyani, N., 2025. Microplastic composition in water and sediment in Tegal Island, Pesawaran District,

Lampung. *Jurnal Perikanan dan Kelautan*, 15(1): 1-12. doi: 10.33512/jpk.v15i1.30758

Wright, S.L., Thompson, R.C. & Galloway, T.S., 2013. The physical impacts of microplastics on marine organisms: a review. *Environmental Pollution*, 178: 483-492. doi: 10.1016/j.envpol.2013.02.031

Yona, D., Sari, S.H.J., Iranawati, F., Bachri, S. & Ayuningtyas, W.C., 2019. Microplastics in the surface sediments from the eastern waters of Java Sea, Indonesia. *F1000Research*, 8(May): 1-14. doi: 10.12688/f1000research. 17103.1

Yu, Y., Zhou, D., Li, Z. & Zhu, C., 2018. Advancement and challenges of microplastic pollution in the aquatic environment: a review. *Water, Air, and Soil Pollution*, 229(5). doi: 10.1007/s11270-018-3788-z

Zhang, C., Wang, S., Sun, D., Pan, Z., Zhou, A., Xie, S., Wang, J. & Zou, J., 2020. Microplastic pollution in surface water from east coastal areas of Guangdong, South China and preliminary study on microplastics biomonitoring using two marine fish. *Chemosphere*, 256: 127202. doi: 10.1016/j.chemosphere.2020.127202

Zientika, Z., Amin, B. & Yoswaty, D., 2021. Relationship between microplastics abundance and sediment organic content in Dumai coastal waters. *Journal of Coastal and Ocean Sciences*, 2(3): 154-159. doi: 10.312 58/jocos.2.3.154-159